

констант LiH с использованием лабораторных ВУФ источников света были сделаны еще в начале 70-х годов (канд. диссертация С.О. Чолаха, 1974). На протяжении более 25 лет были предприняты еще несколько «атак» уже с применением синхротронного излучения – мощного источника света ВУФ диапазона. И только в 1999 году на синхротроне DESY (Гамбург) при сколе кристалла LiH непосредственно перед измерением спектра отражения в криостате при температуре 9К в ультравысоком вакууме  $1 \cdot 10^{-10}$  Торр удалось, наконец, получить истинный спектр отражения LiH. Требуется его окончательная проверка и расчет из него спектров оптических констант.

Вот такое сочетание «простоты» и сложности. И все же представляется, что все коллеги и студенты, кто работал с гидридом лития в разное время, благодарны, что судьба свела с этим интересным кристаллом. Трудные для науки времена пройдут, и наверняка, LiH снова засияет на научном небосклоне и вновь будет пленить нас своими тайнами.

*Ф. Г. Нешов*

## **ЦИКЛОТРОН УГТУ В ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ И ПРИКЛАДНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Оснащение ВУЗа таким уникальным оборудованием, каким являлся циклотрон в пятидесятые годы, явилось следствием того Великого Противостояния между Востоком и Западом, которое развернулось в тот период. Когда стало ясно, что гонка ядерных вооружений процесс длительный, и потребуются масштабные научные исследования в области ядерной физики и соответствующих технологий, Правительство СССР приняло решение о создании учебных институтов и факультетов в ряде вузов для подготовки кадров в атомную промышленность. Эти учебные заведения оснащались самой современной техникой, в том числе такой дорогостоящей, какой является циклотрон.

Циклотрон Р-7 проектировался и изготавливался в НИИ электрофизической аппаратуры им. Д. В. Ефремова в Ленинграде, как университетский ускоритель для проведения исследовательских работ и подготовки кадров. Таких установок было изготовлено четыре: для Московского и Ленинградского университетов, Уральского и Томского политехнических институтов. Они были введены в эксплуатацию в самом конце 50-х годов. Циклотрон позволял ускорять протоны, дейтоны и альфа-частицы до фиксированной энергии 6,7 МэВ/нуклон с током пучка на удаленную мишень до нескольких десятков микроампер. Он также обладал большим количеством недоработок, но усилиями сотрудников перечисленных вузов они были устранены, и к середине 60-х годов устойчиво работали в проектных режимах.

Циклотрон Уральского политехнического института был сдан в эксплуатацию 30 апреля 1960 года. Пионерами в освоении циклотрона под руководством Хрусталькова Георгия Викторовича были Безель Виктор Сергеевич, Кадочников Юрий Александрович, Нефедьев Евгений Григорьевич, Ослоповских Геннадий Александрович, Сарафанов Людвиг Александрович, Пугачев Станислав Васильевич, Ушаков Юрий Артемьевич.

В этот период на циклотроне УПИ проводились фундаментальные исследования по изучению времени жизни возбужденных состояний ядер. По заданию Госкомитета СССР по использованию атомной энергии проводились работы по получению радиоактивных изотопов натрия, марганца, ванадия, кобальта. Для нужд народного хозяйства исследовались процессы износа деталей машин и режущего инструмента методом поверхностной активации.

В связи с возросшим интересом к физике высокоэнергетичных многозарядных ионов к концу 60-х годов на циклотроне была освоена методика их ускорения на субгармониках основной частоты ускоряющего электрического поля. Были получены достаточно интенсивные пучки ионов азота, неона, аргона с энергией порядка 0,5 МэВ/нуклон. Работы выполнялись под руководством начальника циклотрона Сметанина Геннадия Ивановича.

Твердотельная тематика на циклотроне определилась в результате открытия в середине 60-х годов очень мощных ориентационных эффектов, возникающих при взаимодействии заряженных частиц с кристаллами. До этого при взаимодействии тяжелых заряженных частиц с твердыми мишенями последние рассматривались в виде конденсированного газа со статическим пространственным распределением атомов. Однако, теоретические, а затем экспериментальные исследования показали, что при взаимодействии быстрых заряженных частиц с монокристаллами наблюдается целый ряд новых физических явлений, связанных с упорядоченным расположением атомов монокристаллической мишени. Основными из них являются эффект каналирования и эффект теней. Научными руководителями этих исследований на циклотроне являлись автор открытия эффекта теней профессор МГУ А. Ф. Тулинов и участник этих исследований лауреат Государственной премии А. А. Пузанов.

Работы по исследованию взаимодействия ускоренных ионов с монокристаллами в свою очередь стимулировали более углубленное изучение таких вопросов как торможение ионов, многократное рассеяние, генерация характеристического рентгеновского излучения. Этого требовало и бурное развитие в тот период методов исследования твердого тела с использованием пучков ускоренных ионов. Эти методы позволяли получать обширную и, зачастую, недоступную другим методам информацию о составе и структуре твердого тела.

Высокий уровень проводимых на циклотроне исследований определил включение лаборатории в программу выполняемую по Постановлению ЦК КПСС и СМ СССР по созданию противоракетной обороны с элементами космического базирования. Выполнение данной работы требовало коренной реконструкции циклотрона: классический дейтонный циклотрон необходимо было перевести в режим ускорения отрицательных ионов водорода.

В результате проведенной реконструкции появилась возможность плавно регулировать в широких пределах энергию ускоряемых частиц и значительно расширить их ассортимент. Достаточно интенсивные пучки многозарядных ионов, возможность регулирования их энергии в широких пределах позволили провести целенаправленный цикл исследований в энергетическом диапазоне недоступном для технологических установок ионного легирования полупроводников и металлов. В результате был обнаружен, детально исследован и описан механизм воздействия ионов повышенной энергии на твердое тело, основанный на се-

лективным нагреве дефектообразующих атомов за счет преимущественной релаксации на них электронных возбуждений, внесенных быстрым ионом.

В последние годы в связи с огромной экономической значимостью увеличения срока службы энергетических ядерных реакторов совместно с СФ НИКИ-ЭТ проводятся исследования причин деградации защитных оксидных покрытий канальных и твэльных конструкций РБМК реакторов. Поиск увеличения коррозионной стойкости проводится путем моделирования нейтронного воздействия облучением образцов многозарядными ионами.

Учитывая большие потенциальные возможности циклотрона УГТУ в решении фундаментальных и прикладных задач, Миннауки и технической политики РФ (приказ № 452 от 24.02.95 г.) он включен в «Перечень уникальных экспериментальных установок национальной значимости, требующих дополнительной государственной поддержки».

Наряду с использованием циклотрона в научных исследованиях, решаются и сугубо практические задачи. Сотрудниками лаборатории разработан проект создания центра нейтронной терапии злокачественных опухолей на базе циклотрона. Многолетний опыт лучевой терапии показал, что нейтронное излучение более эффективно разрушает опухолевые ткани, нежели традиционно используемые гамма- и электронное излучения. Проект был положительно оценен экспертами и включен в губернаторскую противораковую программу, однако не реализован в связи с недофинансированием этой программы.

Другое, вообще безальтернативное, применение циклотрона – позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ). По зарубежным данным в последние 5 лет использование в клиниках ПЭТ резко возросло. Он используется для диагностики при лечении пациентов с неврологическими, психиатрическими, сердечно-сосудистыми и онкологическими заболеваниями. Обладая уникальной чувствительностью, ПЭТ позволяет обнаруживать аномалии в функционировании органов до появления симптомов. К сожалению, ПЭТ работает только с короткоживущими циклотронными изотопами, т.е. он должен быть в физической близости от циклотрона. Это обстоятельство делает ПЭТ центр очень дорогостоящим. В настоящее время в мире функционирует около 300 ПЭТ центров и ежегодно вводится в эксплуатацию 25-30. В России пока действуют 2 ПЭТ центра в Санкт-Петербурге, в стадии монтажа 2 – в Москве.

Циклотрон УГТУ достаточно эффективно может производить все необходимые радионуклиды, что позволяет создать ПЭТ центр с минимальными затратами. В настоящее время такой проект разрабатывается.

Резюмируя вышеизложенное можно сказать, что и сегодня, спустя 40 лет после ввода в эксплуатацию, наш циклотрон не устарел морально, он в хорошем физическом состоянии, во многом благодаря его, практически бессменному, начальнику Г. И. Сметанину. Есть задачи научного и практического плана, которые могут быть решены с его помощью.

Глубоко не прав был Энрико Ферми при оценке будущего атомного реактора и циклотрона заявив: «Циклотроны наподобие египетских пирамид, может статься войдут в историю в качестве примера не имеющих никакого значения monuments». Сегодня, спустя полвека, мы являемся свидетелями того, как один за другим закрываются ядерные реакторы, а только фирма «Сиенс» в 1999г. выпустила 17 циклотронов для ПЭТ центров.